Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni - Junho de 2018

ANÁLISE COMPARATIVA DE RESISTÊNCIA DO CONCRETO A COMPRESSÃO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AREIA POR BORRACHA

Musashi Alves Saito*; Altamiro Junior Mendes Silva **; Paulo Toledo Ribeiro***; Guilherme Taroni Lauar****.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o estado do concreto e a compressão inovadora, quando se substitui, parcialmente, a areia por resíduo de borracha oriundo de pneus inservíveis. Visto que a proposta do seguinte trabalho é proporcionar uma disposição final limpa, ressaltando-se que a borracha consiste num material prejudicial ao meio ambiente e à saúde do homem; verificando-se, assim, se o uso da borracha como agregado na produção de concreto consiste num material alternativo para a indústria da construção civil. Para determinar se tal procedimento pode ou não vir a ser utilizado; foram preparadas quatro dosagens de concreto, sendo uma dosagem do tipo de concreto referência produzido através da forma tradicional, e, os demais com dosagem de concreto, contendo resíduos de borracha substituindo parcialmente a areia. Aos 7, 14 e 28 dias de idade os corpos de provas produzidos foram submetidos aos ensaios de resistência mecânica e compressão. Os resultados indicam redução nos valores referentes à resistência da compressão, o que vem demostrar que a substituição de parte do agregado de areia por borracha deixa o concreto mais frágil.

Palavras - Chave: Comportamento do concreto a compressão; Resíduo de Borracha; Disposição Final Limpa; Material Alternativo; Construção Civil.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CONCRETE RESISTANCE COMPRESSION WITH PARTIAL REPLACEMENT OF RUBBER SAND

Abstract

The present work aims to evaluate the compression behavior when partially replacing the sand with rubber fluid or tire of waste. What is a proposal of the next work is to provide a final cleaning, emphasizing that a consistency content in a material harmful to the environment and human health, thus making it an alternative for the construction industry. This is used in the preparation of the effect is used in the preparation of being concrete in the preparation of concrete insulating the particuar of concrete insulating partially to sandy. At 7, 14 and 28 days of age the specimens were loaded in the mechanical strength tests. The results are based on values of importance equal to or greater than an addition that the replacement of part of the sand with rubber leaves the concrete more fragile.

Keywords: Compressive concrete behavior, Rubber residue, Clean Final Disposal, Alternative Material, Construction.

_____

*Acadêmico do 10º período do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni. E-mail: saitomusashi@gmail.com
**Engenheiro Civil, Mestre, Professor na Faculdade Presidente Antônio Carlos – Teófilo Otoni. Email: altamirojms@gmail.com
***Engenheiro Agrônomo, Mestre, Professor na Faculdade Presidente Antônio Carlos – Teófilo Otoni. Email: pauloagroribeiro@hotmail.com
**** Arquiteto, Especialista, Professor na Faculdade Presidente Antônio Carlos – Teófilo Otoni. Email: guilhermetaronilauar@gmail.com

1 Introdução

Atualmente, o concreto é a mistura mais utilizada no ramo da construção civil. Basicamente, é um composto formado de cimento, água, areia e pedra (ou brita). Uma massa que pode ser moldada em seu estado fresco. Com determinado tempo ela enrijece e adquire resistências mecânicas.

Contudo, a grande utilização do concreto nas construções civis vem provocando um enorme impacto ambiental, por consumir grande quantidade de matéria prima. Segundo JHON (2000) a construção civil consome entre 14% a 50% dos recursos naturais que são retirados no planeta. No entanto, uma forma de amenizar esse impacto se dá pela utilização dos resíduos como matéria prima, que, consequentemente, reduziria uma parcela dos recursos naturais extraídos do meio ambiente. Estes resíduos poderão se converter num enorme auxiliador na criação de materiais alternativos de baixo custo, permutando na maior parte com os agregados naturais utilizados em argamassas, concretos, blocos, bases para pavimentação, barreiras de contenção, etc.

Uma alternativa a ser utilizada como substituição parcial de agregado miúdo, seriam os resíduos oriundos da recauchutagem de pneus. Uma vez que no Brasil são descartados aproximadamente 17 milhões de pneus por ano. Preocupado com o meio ambiente, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), estabeleceu medidas à disposição final de pneus importados ou fabricados no Brasil. Segundo a RESOLUÇÃO Nº 258, DE 26 DE AGOSTO DE 1999, a partir de 1° de janeiro de 2005, em razão de quatro pneus novos, as importadoras tem como responsabilidade a destinação final de cinco pneus inservíveis. E, em razão de cada três pneus reformados importados, seja qual for o tipo, tem como responsabilidade a destinação final de quatro pneus inservíveis.

Em 2013, segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP) a indústria brasileira produziu 68,8 milhões de pneus. A produção destes tem

causado enormes preocupações devido a sua disposição final. Visto que não devem ser descartados em aterros e a sua queima emitem gases tóxicos.

A finalidade deste trabalho é avaliar a atuação do resíduo de borracha de pneu em concretos substituindo parcialmente a areia. Sujeitos a ensaios de resistência a compressão, com o objetivo de se utilizar futuramente como material alternativo na engenharia civil, visando à sustentabilidade.

1.1 Referencial Teórico

1.1.1 Concreto

O concreto de cimento Portland consiste num material poroso, o qual possui uma estrutura heterogênea e complexa. Conforme Freitas (2007) as propriedades do concreto como material possuem sua origem em sua estrutura interna.

Conforme Mehta e Monteiro (1994) o concreto consiste no material mais utilizado na construção, sendo este produzido através de uma mistura de cimento Portland, areia, pedra e água. Ainda, conforme os autores acima, sua estrutura é heterogênea e altamente complexa, sendo que este consiste, necessariamente, de um meio contínuo aglomerante, no qual estão mergulhados partículas ou fragmentos de agregados.

Deve-se ressaltar assim, que dentre os fatores que contribuem para o uso do concreto está ligado a sua alta resistência e a sua viabilidade de moldes, sendo este utilizado por três motivos conforme Mehta e Monteiro (2008): excelente resistência à água, capacidade de enfrentar a ação das águas sem graves deteriorações; facilidade para moldagem de formas e tamanhos; baixo custo e rápida disponibilidade do material para a obra.

Deste modo, entende-se que a estrutura do concreto é constituída pelo tipo, tamanho, quantidade, forma e distribuição das fases presentes, sendo este formado, basicamente, por três fases distintas as quais segundo Rodrigues (2013, p. 13) são:

> 1 – Meio Ligante: formada por uma pasta de cimento Portland, sendo seu objetivo envolver os agregados, assim, preenchendo os espaços vazios, vindo a possibilitar a massa de concreto a capacidade de ser manuseada quando misturada;
> 2 – Agregados: propriedades do concreto como massa unitária e

> módulo de elasticidade estão ligadas à densidade e resistência dos agregados. Geralmente são mais resistentes que as outras fases, por isso não afetam diretamente a resistência do concreto;
> 3 – Zona de Transição: consiste na região entre o agregado graúdo e a pasta de cimento, sendo essa formada através do acúmulo de água ao redor do agregado, consiste na A fase de transição é a mais fraca dos constituintes do concreto, sendo fonte de micro-fissuras.

De acordo com Giamusso (1992) o concreto é formado através da mistura de água, cimento e agregados, onde a água e cimento formam uma pasta; essa endurece após certo tempo, vindo, assim, adquirir uma resistência mecânica aderindo às partículas de agregado.

É importante destacar que o concreto possui uma boa resistência à compressão, sendo este fato um parâmetro significativo no tocante deste como material estrutural (BARBOSA et all. 2006). Neste sentido segundo Mehta e Monteiro (2008) o concreto pode ser dividido da seguinte maneira conforme sua resistência à compressão:

1 - Concreto de baixa resistência: menos de 20 MPa;

2 - Concreto de resistência moderada: de 20 MPa a 40 MPa;

3 – Concreto de alta resistência: mais de 40 MPa.

Deve-se salientar que dentre essas três divisões do concreto conforme sua resistência à compressão, a de moderada resistência é a mais utilizada nas obras estruturais, sendo que a de alta resistência é utilizada em casos especiais, na qual sua aplicabilidade e previamente calculada.

1.1.1.1 Materiais que compõe o concreto

Os materiais básicos que veem a compor o concreto são os aglomerantes (cimento Portland); agregados, sendo dividido em agregado Miúdo (areia natural ou artificial (pó de pedra beneficiado), pó de pedra), agregado graúdo (pedra britada ou seixo natural); água; aditivo (plastificante, retardador de pega) e as adições (metacaulim, cinza volante, pozolanas, cal, pó de pedra). No caso especifico deste trabalho serão abordados de modo geral os aglomerantes, agregados e a água, bem como a inserção da borracha obtida através de pneus usados para compor a massa de concreto.

1.1.1.1.1 Aglomerantes

Os aglomerantes são o composto que unem os fragmentos de outros materiais; o comum a ser utilizado para fabricação do concreto é o cimento Portland, o qual é um aglomerante hidráulico, através dele reage com a água cindo a endurecer após um determinado tempo.

Conforme explicitado por Giamusso (1992), o cimento é formado por silicatos e aluminatos de cálcio, que após ser hidratado, passa a ter uma função similar a uma cola, vindo a ligar as partículas do agregado entre si. Deve-se salientar que o tipo de cimento utilizado também contribui para a resistência da pasta de concreto, ou seja, determina a resistência do concreto à compressão.

Conforme dito por Neville (1923) o cimento de alta resistência, desenvolve a resistência mais rapidamente, sendo este indicado nas situações em que se faz necessária uma evolução mais rápida da resistência do concreto.

1.1.1.1.2 Agregados

Os agregados são constituídos por partículas minerais, estas aumentam o volume da mistura, o que faz reduzir o custo, bem como, tem a função de proporcionar uma estabilidade volumétrica do produto final, no caso, o concreto. Estas podem ser divididas em dois tipos, conforme as dimensões características Φ.

- Agregados miúdos: 0,075mm $<\Phi<$ 4,8mm. Exemplo: areias.
- Agregados graúdos: $\Phi >=$ 4,8mm. Exemplo: pedras.

Entende-se, assim, que o agregado consiste num componente inerte à função de material de enchimento e de material resistente, sendo este formado por partículas que vão ser cimentadas – entre por meio da pasta formada através da hidratação do cimento com a água.

Conforme Giamusso (1992), os agregados correspondem a uma parcela que varia de 60% a 80% do total do volume da massa de concreto, sendo que estes se dividem em agregados graúdos e agregados miúdos, sendo estes determinados conforme o tamanho das partículas, sendo estes classificados por meio das aberturas de peneiras nos quais passam.

O agregado graúdo consiste no material que ao ser passado em uma

peneira quadrada cujos furos possuem de 4,8 mm de lado, e nesta ficam retidas, os agregados que passam por essa mesma peneira sem serem retidos são denominados agregados miúdos.

É fundamental salientar conforme dito por Segre (1999) que as quantidades de areia e brita na mistura influenciam tanto no trabalho quanto na resistência da massa. Na qual, a brita tem a função de aumentar a resistência, e a areia a trabalhabilidade, diminuindo a porosidade. Sendo que a porosidade influencia de forma direta na questão da impermeabilidade e durabilidade das estruturas construídas com concreto.

Os agregados miúdos devem possuir um diâmetro máximo de 4,75 mm até diâmetro mínimo de 150 mm, portanto, devem passar por uma peneira número 4, de malha 4,75 milímetros e ficarem retidas na peneira de malha 150 μm, segundo NBR7211 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT, 2009).

Um exemplo de agregado miúdo é a areia, esta consiste numa substância natural, derivando-se da desagregação de rochas, podendo esse processo ser natural ou mecânico; no caso do processo mecânico, as rochas com alto teor de quartzo são mais favoráveis ao processo de produção de areia por degradação, decomposição, a qual pode ocorrer de forma física ou química.

Segundo Iervolino (2012) a areia é constituída principalmente de quartzo, mineral de fórmula geral SIO2, encontrado por toda crosta da terra, constituindo aproximadamente 12% dela. Ainda segundo este autor, conforme a granulometria e grau de pureza, essas têm empregos distintos, exemplo são as areias mais grosseiras e com maior impureza, nas quais são utilizadas na construção civil.

Os agregados graúdos, conforme encontrado na NBR-7211, são materiais nos quais 95% da sua massa permanecem ou ficam retidas numa peneira de 4,8 mm e passa por uma peneira de 152 mm (ABNT, 2009).

Um exemplo de agregado graúdo é a brita esta se classifica como um agregado, cuja origem é artificial, à qual possui tamanho graúdo, sendo esta produzida em pedreiras, as quais realizam a exploração de rochas cristalinas com solos pouco espessos de cobertura, no estado físico sem muita alteração, de preferência aquela contendo rochas quartzo. Contudo, rochas como o basalto e calcários microcristalinos, também são explorados para essa finalidade (IERVOLINO, 2012).

Conforme Rodrigues (2013) a brita ou pedra britada tem seu uso frequente na confecção do concreto, no qual a escolha acerca das dimensões deste agregado se dá mediante as dimensões do que será concretado (geometria da estrutura), assim como, também, se verifica a densidade de armadura da seção transversal.

1.1.1.1.3 Água

Conforme Granzotto (2010) a água utilizada na produção do concreto não deve possuir impurezas que possam vir a ser prejudiciais ao concreto, ou seja, a reação que ocorre ao se realizar a mistura do cimento com a água. Ainda conforme este mesmo autor:

> Normalmente as águas potáveis são satisfatórias para o uso em concreto. Na prática, quase todas as águas naturais são utilizáveis. Os maiores defeitos provenientes da água têm maior relação com o excesso de água empregada do que propriamente com os elementos que ela possa conter. A reação química do cimento com a água é fundamental para dar ao concreto as propriedades mais importantes: resistência, durabilidade, trabalhabilidade, impermeabilidade, etc. (GRANZOTTO, 2010, p. 67).

Segundo diversos pesquisadores e tecnologistas do concreto quanto menor for o emprego da água no concreto (desde que essa continue plástica e trabalhável), o concreto tem suas propriedades melhoradas. Logo, se deve evitar o preparo de concreto muito fluido, o qual costuma ser usado para facilitar trabalhos de concretagem.

De acordo com disposto dentro da NBR 6118 à relação água/cimento que se faz ideal para que se trabalhe com o concreto baseia-se na relação entre peso da água e do cimento utilizados na mistura, sendo o usual entre 0,45 a 0,65 (Kg/Kg) (ABNT, 2004).

1.1.1.2 Propriedades do Concreto

1.1.1.2.1 Concreto fresco

Dentre as propriedades do concreto fresco deve-se retratar o que diz respeito à trabalhabilidade e consistência deste material.

Segundo Moreira (2004) a trabalhabilidade concreto fresco consiste na propriedade que determina e identifica a sua maior ou menor aptidão, no que diz respeito à utilização, conforme a finalidade de uso desde que não se perca a homogeneidade.

Para Almeida (2002) a consistência do concreto fresco consiste na propriedade da mistura que se relaciona a sua mobilidade, bem como na coesão entre os materiais que compõe a massa, considerando-se a uniformidade e a compacidade deste.

1.1.1.2.2 Concreto endurecido

Uma das propriedades do concreto endurecido se relaciona a sua resistência mecânica, tendo como característica, nesta fase, a alta resistência aos esforços de compressão, devendo-se ressaltar que nessa fase possui uma má resistência a esforços de tração, no qual o aço utilizado no concreto armado tem a função de promover essa resistência à tração.

Segundo Rodrigues (2013, p.16):

> A resistência é obtida através de corpos de prova padronizados, para possibilitar que resultados do mesmo concreto sejam comparados. Colocando-se essas resistências em um gráfico de distribuição, obtém-se a curva de distribuição normal e a partir desta a resistência característica à compressão do concreto.

Outro fato que deve ser ressaltado, conforme Moreira (2004), diz respeito à retração, sendo esta um fenômeno, no qual após ocorrer à pega, o concreto estando em contato com o meio ambiente, indubitavelmente, sofre uma variação e uma redução em todas as dimensões. As dimensões serão maiores quanto mais novos for o concreto. À medida que este envelhece, se torna mais resistente, e, sofre menores deformações.

1.1.2 Borracha

As borrachas (elastômeros) são definidas como sendo poliméricos que possuem a capacidade de voltar de forma rápida à forma original, quando são submetidas às situações em que estas sofram variações em seu formato (FREITAS, 2007).

As borrachas são classificadas quanto à origem em dois tipos, a saber: as naturais e as sintéticas. As borrachas naturais são obtidas a partir da extração e processamento da matéria prima (látex) da árvore da seringueira. A borracha sintética foi desenvolvida na Alemanha após a segunda guerra mundial; a borracha é criada de forma sintética através do petróleo, sendo que tal borracha teve sua inserção em maior escala da década de 70 devido à baixa do preço do petróleo.

Deve-se destacar sobre a borracha sintética, o fato da borracha sintética possuir grande semelhança com a borracha natural, contudo a borracha sintética não contém a mesma resistência ao calor, fragilizando-se com rápidas mudanças de temperatura, e, devido a este fato, ao se produzir a borracha sintética, sempre se insere em sua composição a borracha natural (BRUXEL, 2009).

Segundo Freitas (2007) desde a descoberta da borracha vários produtos foram desenvolvidos, pois, as características e propriedades desse material proporciona vasta empregabilidade nos diversos setores da economia, como, por exemplo: automobilístico, material hospitalar, construção civil dentre outros. Ainda, conforme autor mencionado acima, as borrachas mais utilizadas para produção de pneus são de estireno butadieno e de polibutadieno sendo que a borracha de acrilonitrila-butadieno é utilizada numa menor proporção.

1.1.2.1 Composição e estrutura dos pneus

O pneu automotivo, radial ou convencional, é formado através de vários componentes, os quais são fabricados com diversos materiais. Cada um desses componentes que compõe os pneus possuem funções específicas seja para o desempenho ou uso do pneu, sendo que cada componente utilizado reflete essa

característica. Basicamente, o pneu automotivo é constituído de uma banda de rodagem, talões, carcaça e paredes laterais (KAMIMURA, 2002).

Conforme definido pela Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos – ANIP (2013) os pneus possuem, em sua composição, os elementos dispostos nas Tabelas 1 e 2, o mesmo e exposto por Granzotto (2010):

Tabela 1 – Composição química do pneu

Elemento/Composto	**%**
Carbono	70,0
Hidrogênio	7
Óxido de Zinco	1,2
Enxofre	1,3
Ferro	15
Outros	5,5

Fonte: Adaptado de Granzotto (2010)

Tabela 2 – Comparação dos materiais dos pneus

Material	**% Automóvel**	**% Caminhão**
Borracha/Elastômo	48	45
Negro de Fumo	22	22
Aço	15	25
Tecido de nylon	5	----
Óxido de Zinco	1	2
Enxofre	1	1

Fonte: Adaptado de Granzotto (2010)

De acordo com Kamimura (2002, p. 9 e 10), a estrutura dos pneus se divide em diferentes partes, sendo estas:

> **Carcaça**: é a estrutura interna do pneu, com a função de reter o ar sob pressão e suportar o peso do veículo. É constituído por lonas de poliéster, náilon ou aço, dispostas diagonalmente nos pneus convencionais e radialmente nos pneus radiais.
> **Flancos**: são constituídos por borrachas com alto grau de flexibilidade, dispostos na lateral do pneu, e tem a função de proteger a carcaça.

> **Talão**: é constituído por diversos arames de aço de alta resistência, unidos e recobertos por borracha. Possui a forma de anel, e tem a função de manter o pneu acoplado firmemente ao aro.
> **Banda de Rodagem**: formada por um composto especial de borracha que oferece grande resistência ao desgaste. É a parte do pneu que entra diretamente em contato com o solo. Sua superfície constituída por partes cheias (biscoitos) e vazias (sulcos) que devidamente distribuídos proporcionam estabilidade e segurança ao veículo.

1.1.2.2 Recauchutagem

Há muito tempo foram desenvolvidos processos para recuperação de pneus usados, no intuito de se aumentar a vida útil de tais objetos, eis que este processo contribui para minimizar os impactos ocasionados pelo descarte dos pneus automotivos. A reforma ou recauchutagem dos pneus consiste basicamente na substituição da banda de rodagem dos pneus por meio de processos industriais como, por exemplo:

> a) Recapagem, processo de reconstrução do pneu através da substituição da banda de rodagem;
> b) Recauchutagem, processo de reconstrução do pneu através da substituição da banda de rodagem e dos ombros;
> c) Remoldagem é o processo de reconstrução do pneu através da substituição da banda de rodagem, dos ombros e de toda a superfície de seus flancos. (ABREU, 2014, p. 20)

Conforme explicitado por Santos (2005), a recauchutagem consiste num processo de reciclagem, sendo esta muito eficaz, pois, por meio deste processo é possível aumentar a vida útil do pneu em até três vezes.

Segundo Kroth (2012) o Brasil tem ocupado a segunda colocação no ranking mundial de recauchutagem de pneus. Ressaltando-se que este processo também produz resíduo, pois durante o processo de reforma, a banda de rodagem do pneu é raspada com objetivo de se retirar a borracha desgastada pra a inserção de uma nova borracha de rodagem.

1.1.2.3 Pneus inservíveis

Segundo KAMIMURA (2002, p. 12): um pneu passa a ser inservível quando:

> Está fisicamente prejudicada a lona se rompe, ou não pode ser recauchutado. Pneu inservível é aquele que não mais se presta a qualquer tipo de uso como pneu, não sendo possível inclusive reindustrializá-lo. (recapagem, recauchutagem ou remoldagem).

De acordo com o Conselho Nacional do meio ambiente (CONAMA), os pneus inservíveis são aqueles que se encontram definidos conforme a Resolução n° 301/02, por meio de seu Art. 2°, inciso IV: "pneu ou pneumático inservível: aquele que não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional, conforme código 4012.20 da Tarifa Externa Comum - TEC".

Deve-se compreender que o descarte ou a disposição inadequada dos pneus inservíveis provoca diversas consequências prejudiciais ao meio ambiente, bem como, para a saúde do homem. Inúmeras pesquisas têm sido feitas no intuito de se buscar técnicas para que ocorra a reutilização desses pneus.

Neste sentido, Kamimura (2002), cita as principais aplicações destes pneus inservíveis bem como os resíduos produzidos por estes no ramo da construção, sendo estes: materiais para pavimentação asfáltica; muros de contenção; barragens; controle de erosão; estabilização de ombreiras; geogrelha; sistema de armazenagem de água para gramados; barreiras de inércia atenuadora de impactos, dentre outros.

Nesta mesma linha, Kroth (2012), cita como vantagens o aproveitamento destes pneus na construção civil como sendo:

> "economia do consumo das fontes finitas dos recursos naturais; prolongando a vida útil dos aterros sanitários; redução de emissão de poluentes na atmosfera; redução dos vetores de doença; redução de sobrecarga em edificações; preservação do meio ambiente; economia no transporte e otimização na produção".

1.1.2.4 Legislação

Mediante a enorme preocupação sobre o meio ambiente devido aos depósitos clandestinos de pneus, formas inadequadas de descartes e outros fatores, várias medidas tem sido tomadas, como a criação das resoluções CONAMA n° 258, de 26 de agosto de 1999, que determina: "que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis"; CONAMA n° 301, de maço de

2002 que complementa a resolução n° 258. A instrução normativa n° 08, de 15 de maio de 2002, regulamenta as duas resoluções supracitadas e traz em seu artigo 1° o seguinte:

> Art. 1° Instituir, no âmbito do IBAMA, os procedimentos necessários ao cumprimento da Resolução CONAMA n.°258, de26 de agosto de 1999, quanto ao cadastramento de fabricantes e importadores de pneumáticos para uso em veículos automotores e bicicletas, assim como o cadastramento de processadores e destinadores de pneumáticos de veículos automotores e bicicletas.

Assim, fica evidente que normas e legislações acerca do descarte, reutilização dos pneus bem como a proteção ao meio ambiente está regida por normatizações e leis. Fica evidente que a Resolução 258/99 obriga as empresas fabricantes e as importadoras de pneus a coletarem e darem devida destinação adequada para os pneus inservíveis, a fim de se proteger a natureza e a saúde do ser humano no Planeta Terra.

Fica evidenciado assim que a resolução nº 301/02 tem o intuito de complementar a resolução anterior, corrigindo as falhas que esta possuía no que diz respeito à destinação dos resíduos sólidos produzidos pelos pneus. Sendo que a instrução normativa n° 08/02 do IBAMA visa cuidar das questões quanto ao cadastramento de fabricantes e importadores de pneus para uso em veículos automotores e bicicletas, bem como o cadastramento de processadores e destinadores destes.

1.1.3 Concretos com Borracha

São inúmeros os resíduos estudados no intuito de compreender a incorporação dos resíduos à massa de concreto utilizada na construção civil, sendo que estes resíduos comumente são oriundos da reciclagem. Conforme apontado por Grazotto (2010) os estudos realizados têm demonstrado que ao concreto podem ser adicionados diversos agregados advindos da reciclagem, podendo estes ser utilizados tanto nos concretos de baixa quanto alta resistência.

A utilização dos resíduos provenientes dos pneumáticos junto à massa do concreto tem sido alvo de estudos nos últimos anos, sendo que algumas das pesquisas realizadas apontam resultados satisfatórios para a substituição dos

agregados naturais (areia) por agregados provenientes a trituração dos pneus inservíveis (BOAVENTURA, 2011).

Contudo, é de bom tom ressaltar que estudos mais detalhados devem ser desenvolvidos, pois como será demostrado neste trabalho existem casos nos quais a inserção do agregado de pneus não atende às necessidades para o que se pretende construir.

1.1.3.1 Propriedades do concreto com resíduo de borracha no estado fresco

Ao se incorporar a massa de concreto o agregado de borracha de pneus se percebe um aumento na quantidade do concreto; nesse sentido, Freitas (2007) diz que na medida em que se acrescenta a borracha ao concreto, este começa a repelir a água, e, vem, consequentemente, atrair o ar. Ainda, conforme este mesmo autor, umas das consequências ocasionadas devido a esse aumento de ar, consiste no aumento no número de vazios do concreto e diminuição de sua resistência.

Segundo apontado por Boaventura (2011) ao se incorporar os resíduos dos pneus à massa de concreto em substituição a parte de outros agregados, ocorre uma diminuição na trabalhabilidade com a massa de concreto produzida; quanto maior a quantidade de borracha empregada, menor será a trabalhabilidade. Ainda conforme estudos realizados por Marques (2006) *apud* Boaventura (2011) para manter-se trabalhabilidade constante para o mesmo consumo de cimento é necessário utilizar maior relação água/cimento nos concretos com borracha de pneu.

Ao inserir a borracha de pneus se percebe também uma diminuição da massa unitária. De acordo com Freitas (2007), a explicação para este fato se dá devido à densidade da borracha ser menor que a da areia. Outro fator a ser considerado consiste no aumento da dificuldade de adensamento do concreto, o que vem a provocar produção de vazios internos e diminuição da massa especifica.

Outro fato a ser citado, dentre as propriedades do concreto com resíduo de borracha no estado fresco, está relacionado ao menor consumo de cimento para produção da massa de concreto. Conforme apresentado por Boaventura (2011, p 32):

> O consumo de cimento necessário para produção do concreto está relacionado com a massa específica dos componentes da mistura e com massa unitária do concreto fresco. Além do menor consumo de cimento, o concreto com adição de borracha requer menor

> quantidade de agregados naturais, graúdo e miúdo, já que o volume ocupado pela borracha e maior que o da areia natural.

1.1.3.2 Propriedades do concreto com resíduo de borracha no estado endurecido

A massa de concreto com resíduos de pneus em sua composição ao entrar no estado de endurecimento perde parte de resistência à compressão axial. Neste sentido Boaventura (2011, p. 37) afirma que:

> "a redução na resistência dos concretos produzidos com resíduos de pneu está relacionada ao fato da borracha não absorver todo o carregamento em relação a outros componentes bem como admitir maior deformação lateral induzindo à ruptura".

De acordo com Freitas (2007) essa perda na resistência ao se adicionar resíduos de pneus à massa de concreto ocorre devido a uma menor possibilidade de deformação elástica das partículas do concreto, e, também, devido à má aderência entre o cimento e a borracha devido ao fato da borracha ter uma maior capacidade de deformação; sua propriedade de resistir a determinados esforços fica limitada devido à rigidez ocasionada pela secagem do concreto, nesse contexto a borracha dos pneus passa a atuar como sendo vazios no interior do concreto, diminuindo sua resistência.

Ainda conforme Freitas (2007) a diminuição do surgimento de fissuras nos concretos com borracha ocorre devido ao fato da borracha possuir um menor módulo de elasticidade, portanto, se deforma absorvendo parte da carga aplicada após a ruptura.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho possui o objetivo geral de analisar a resistência do concreto à compressão com substituição parcial de areia por borracha.

2.2 Objetivos Específicos

- Verificar a resistência a compressão do concreto com substituição parcial de borracha;
- Comparar os resultados referente a resistência a compressão no concreto padrão com o concreto com substituição parcial de borracha.

3. Metodologia

Inicialmente, foram realizadas as atividades junto ao laboratório de pesquisas da Concreteira: Mix Mattar, a qual pertencente ao Grupo Pedreira Mattar. Sua sede física está localizada na Av. Minas Gerais, 1760 - São Cristóvão, Teófilo Otoni, Estado de Minas Gerais.

Foram confeccionados 36 corpos de prova com traços de concreto utilizando CP III - Cimento Portland de Alto Forno (NBR 5735), areia industrial média lavada, sem matéria orgânica ou ciscos, brita 1, agua potável e borracha de pneus de automóveis oriundo da recauchutagem.

O traço de concreto utilizado foi o de 25 Mpa (1:2:3) correspondente a 5kg de cimento, 10kg de areia, 15kg de brita e 3,05l de água, sendo este o traço referência. Foram realizados mais 3 traços, substituindo a areia por borracha na proporção de 5%, 10% e 15%. Estes materiais foram dosados com a ajuda de uma balança de precisão e, posteriormente, despejados na betoneira separadamente até a homogeneização da mistura.

Em tempo, foi realizado o ensaio de abatimento slump test de acordo a NBR NM 67: 1998. Ilustrado na figura 1, utilizou-se uma forma tronco-cônica e um soquete metálico com o intuito de averiguar a trabalhabilidade do concreto. Neste ensaio foi colocada a amostra de concreto na forma tronco-cônica dividido em três partes iguais, sendo que cada camada recebeu 25 golpes sem adentrar a camada inferior. Após, a condensação da última camada, retirou-se o excesso do concreto, alisando a superfície com o soquete metálico e, logo após, foi retirado o cone lentamente e verticalmente. Foi colocado o soquete sobre o cone invertido e assim se mediu o abatimento com o auxílio de uma régua.

Figura 1: Ensaio de abatimento do tronco de cone



Fonte: Próprio autor

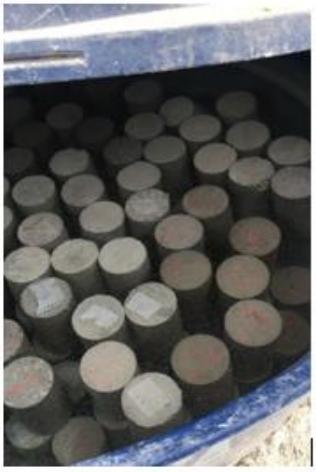
Posteriormente, foram colocados em formas cilíndricas de aço de 100x200 mm para moldagem dos corpos de prova. Preenchidos com duas camadas, ambas recebendo 12 golpes de bastão para que a mistura ajustasse no fundo da forma como ilustrado na figura 2. Os corpos de prova descansaram sobre o piso por 24 horas. Finalizadas foram desmoldados e armazenados em um tanque de água para a cura por 7, 14 e 28 dias, ilustrada na figura 3.

Figura 2: Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Próprio autor

Figura 3: Corpos de prova submersos



Fonte: Próprio autor

Decorrido o tempo de cura estabelecido para o ensaio à compressão axial, os corpos de provas foram para retifica, na qual suas superfícies de apoio foram niveladas e polidas, ilustradas na figura 4.

Finalmente, foi realizada a resistência à compressão de cada corpo de prova com o auxílio da Prensa Hidráulica ilustrado na figura 5. Foram realizados

rompimentos dos 36 corpos de prova, sendo três por idade e traço. No qual 12 foram rompidos com 7 dias, 12 com 14 dias e 12 com 28 dias.

Figura 4: Retifica faceadora



Fonte: Próprio autor

Figura 5: Prensa Hidráulica



Fonte: Próprio autor

4 Resultados e Discussão

A seguir, são exibidas as dosagens dos materiais e os resultados referentes ao ensaio de resistência a compressão.

As tabelas 3,4,5 e 6, podem verificar as quantidades de materiais empregados em cada dosagem experimental, além das médias aritméticas dos valores obtidos com os corpos de prova submetidos ao ensaio de compressão.

Tabela 3 – Dosagem experimental “A”: resultado do ensaio de resistência a compressão

Dosagem dos Materiais				
Cimento %	Areia %	Pedrisco %	Resíduos %	Água %
15,13	30,26	45,38	0,00	9,23
Resultados do Ensaio de Resistência a Compressão				
25,42 Mpa				

Fonte: Elaborada pelo próprio autor 2018

Tabela 4 – Dosagem experimental “B”: resultado do ensaio de resistência a compressão

Dosagem dos Materiais				
Cimento %	Areia %	Pedrisco %	Resíduos %	Água %
15,13	28,75	45,38	1,51	9,23
Resultados do Ensaio de Resistência a Compressão				
18,38 MPa				

Fonte: Elaborada pelo próprio autor 2018

Tabela 5 – Dosagem experimental “B1”: resultado do ensaio de resistência a compressão

Dosagem dos Materiais				
Cimento %	Areia %	Pedrisco %	Resíduos %	Água %
15,13	27,24	45,38	3,02	9,23
Resultados do Ensaio de Resistência a Compressão				
17,40 MPa				

Fonte: Elaborada pelo próprio autor 2018

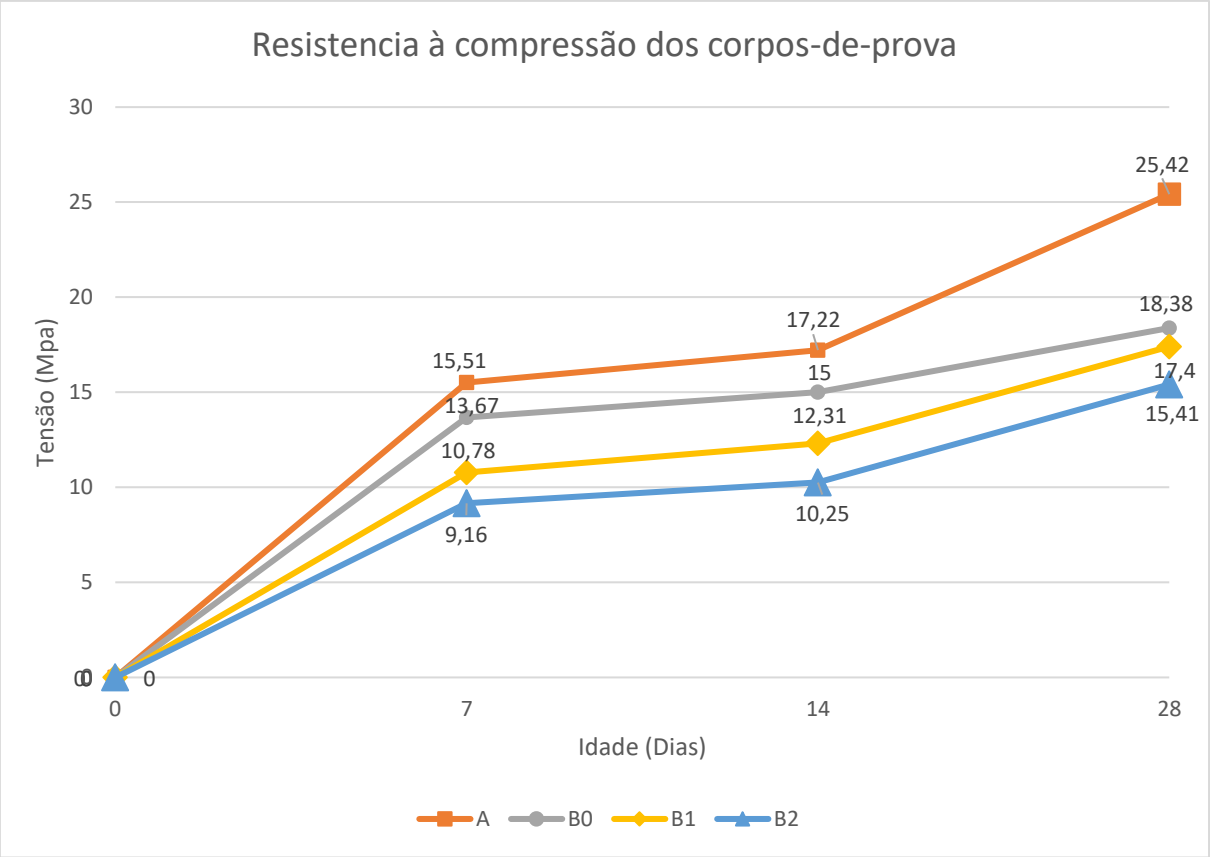
Tabela 6 – Dosagem experimental “B2”: resultado do ensaio de resistência a compressão

Dosagem dos Materiais				
Cimento %	Areia %	Pedrisco %	Resíduos %	Água %
15,13	25,72	45,38	4,54	9,23
Resultados do Ensaio de Resistência a Compressão				
15,41 MPa				

Fonte: Elaborada pelo próprio autor 2018

A figura 6 exibe o gráfico comparativo entre a resistência à compressão para as idades de 7, 14 e 28 dias.

Figura 6: Gráfico de Resistência



Fonte: Elaborado pelo próprio autor 2018

Percebe-se que, por meio da figura 6, que a substituição parcial de areia por borracha de pneus no concreto, ocasiona a queda na resistência à compressão. Podendo ser observado através da verificação da curva referência com as curvas obtidas pelo ensaio no concreto com borracha oriundas da recauchutagem de pneus. Observa-se que mesmo não variando a quantidade de cimento, agua e brita altera consideravelmente os resultados de resistência à compressão.

Visto que a resistência à compressão do concreto é uma das características mais significativas quando se avalia o desempenho de uma estrutura. A resistência está relacionada com a capacidade dos materiais de suportar a tensões sem que haja ruptura. Segundo a literatura, tanto em concreto quanto em argamassa, a adição de resíduos de borracha de pneus age de forma negativa para a resistência a compressão.

No entanto, características como isolamento térmico e acústico tem apresentado bom desempenho após a adição da borracha de pneus em argamassa (LIMA et al., 2000).

Outra característica também influenciada é a trabalhabilidade. Segundo Khatib e Bayomi (1999) e Eldin E Senouci (1992), após a adição dos resíduos de borracha de pneus verifica-se a diminuição da trabalhabilidade comparando as amostras referencias com as substituídas de areia por borracha de pneu.

O principal proposito deste trabalho, era contribuir para a deposição final deste material, visto que o mesmo é um material poluidor e causador de doenças nocivas, visando preservar o meio ambiente.

A que tudo indica o concreto com substituição parcial de areia por borracha, apresenta uma boa competência para aplicação em ambientes que requer baixa resistência mecânica, como, por exemplo: calçadas, guias e sarjetas.

5. Considerações finais

No presente trabalho, foi apresentado um estudo acerca da utilização do concreto com resíduo de borracha, bem como, uma revisão literária sobre este tema, sendo que a revisão bibliográfica teve como objetivo complementar o que foi concluído por meio da pesquisa de campo.

Conclui-se para tanto que o presente projeto que veio com o intuito de utilizar meios sustentáveis na construção civil, no caso apresentado a substituição parcial de areia por borracha.

Levando em consideração todos os aspectos analisados em se tratando da atuação do resíduo de borracha oriundo da recauchutagem de pneus em concretos substituindo, parcialmente, a areia por esta, dá-se a seguinte conclusão: a adição de borracha para a confecção de concreto com função estrutural não se faz eficaz. Uma vez que a utilização da borracha proveniente da recauchutagem de pneus na mistura do concreto diminui a sua resistência, sendo assim inviável sua introdução na estruturação de qualquer construção.

Percebe-se, ainda, que seja inviável a sua utilização na estruturação de uma obra, podendo a borracha ser utilizada como agregado em outros tipos de construção, nas quais não demanda uma resistência maior, tais como calçadas, guias, sarjetas, locais sem peso e tração, pois são ambientes com solicitações leves.

6. Referências

ABREU, Ana Cristina Fernandes. **Análise comparativa dos agregados graúdos, britas calcaria e granítica, e dos agregados miúdos, resíduos de borracha de pneu areia, para utilização em concreto**. Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas. Curso de Engenharia Civil. UFERSA. MOSSORÓ – RN. 2014.

ALMEIDA, Luiz Carlos de. **Concreto. notas de aula da disciplina AU414 - Estruturas IV – Concreto armado**. 2002.Disponivel em: < http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf> . Acesso em: 25 de março de 2018.

ANIP. **Associação Nacional das Indústrias Pneumáticas.** São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.anip.com.br/index.php?cont=detalhes_noticias&id_noticia=534&area=41&titulo_pagina>. Acessado em 20de março de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto - especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 5735: Cimento Portland de alto forno CP III**. Rio de Janeiro 1991.

BARBOSA, M. B. et all. **Influência da incorporação de diferentes porcentagens de resíduos de borracha de pneu no concreto de alto desempenho**. Anais das XXXII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural. Maio 2006.

BOAENTURA, Márcio Carneiro. **Avaliação da Resistência à Compressão de Concretos Produzidos com Resíduos de Pneus**. 2011. 82 F. Monografia (Graduação em engenharia civil) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.

BRUXEL, Daiana Frank. **Concreto com adição de borracha: estudo dos efeitos térmicos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2009.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente).**Resolução nº 258/99**. Ministério do Meio Ambiente – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 1999.

_____. **Normativa n° 8 de 15 de maio de 2002**. Ministério do Meio Ambiente – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2002.

_____. **Resolução n° 301, de 21 de Março de 2002**. Ministério do Meio Ambiente – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2002.

ELDIN, N. N., SENOUCE, A. B. **Rubber-tyreparticles as concrete aggregate**. JournalofMaterials in Civil Engineering, v 5, n°4, p.74-84, 1992.

FREITAS, Camila**. Estudo do desempenho mecânico de concreto com adição de Partículas de borracha para aplicação como material de Reparo em superfícies hidráulicas**. 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

GIAMUSSO,S.E.**Manual do Concreto.** São Paulo. 2ª Ed. Pini, 1992.

GRANZOTTO, Laura. **Concreto com adições de borracha: uma alternativa ecologicamente viável.** 2010. 132 f. Dissertação (Pós-graduação em engenharia urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

IERVOLINO, Marcilene. **Tecnologia dos materiais de construção. Curso técnico de edificações**. 3 ed. Suzano, 2012. Disponível em: Acesso em: 10 de Março de 2012.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil, 2000**. 102p. Tese(Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

KAMIMURA, Eliane. P**otencial de utilização dos Resíduos de borracha de pneus pela Indústria da construção civil**. 2002. 128f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

KHATIB, Z. K., BAYOMY, F. M. Rubberized Portland Cement Concrete. JournalofMaterials in Civil Engineering, v 11, n°3, p 206-213, 1999.

KROTH, Leandro Agostinho. **Análise mecânica e química de placas Pré-moldadas de concreto com adição de Resíduos de borracha de pneus**. 2012. 130 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa, Santa Maria, 2012.

LIMA, I. S., ROCHA, F. S., FERREIRA, J. B. **Um Estudo de Argamassa de Cimento com Adição de Fibras de Borracha Vulcanizada para a Construção Civil**. 42° - Congresso Brasileiro do Concreto, 2000, Fortaleza. IBRACON, 2000.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estruturas, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estruturas, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 2008.

MOREIRA, Amacin Rodrigues. **Apostila de tecnologia do concreto**. 2004. Disponível em:<http://pessoal.utfpr.edu.br/amacinrm/tecc-epc/arquivos/Apostila01.pdf>. Acesso em: 10 março de 2018.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1923.

RODRIGUES, Klinger JucierTargino. **Concreto com resíduo de borracha e brita granítica**. Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Departamento de Ciências ambientais e tecnológicas. Curso de engenharia Civil. UFERSA. MOSSORÓ-RN 2013.

SANTOS, Antonio Carlos dos. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas**. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

SEGRE, N.C**. Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento**. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, São Paulo, 1999.